

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000329524 A**(43) Date of publication of application: **30.11.00**

(51) Int. Cl

G01B 11/00
G01B 11/24
G01C 3/06
G03B 35/08
G06T 7/00
H04N 5/225
H04N 13/02

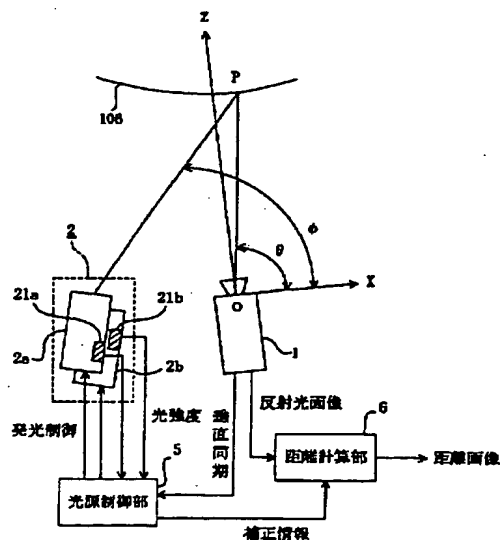
(21) Application number: **2000067103**(22) Date of filing: **10.03.00**(30) Priority: **17.03.99 JP 11072592**(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**(72) Inventor: **AZUMA TAKEO**
UOMORI KENYA(54) **RANGE FINDER**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make accurate measurement of three dimensional information executable with a range finder without being affected by the fluctuation of intensity of cast light.

SOLUTION: A light source 2 is provided with photodetectors 21a and 1b for detecting the intensity of cast light. The light intensity of reflection light image photographed by a camera part 1 is corrected by using the light intensity detected with the photodetectors 21a and 1b as correction information. A distance calculator 6 uses the corrected image and produces a range-image. Thus, even if the light intensity of the cast light fluctuates, the fluctuation of light intensity of the reflection light image due to the fluctuation is corrected.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2000-329524

(P 2000-329524A)

(43) 公開日 平成12年11月30日 (2000.11.30)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード (参考)

G 0 1 B 11/00

G 0 1 B 11/00

H

11/24

G 0 1 C 3/06

A

G 0 1 C 3/06

G 0 3 B 35/08

G 0 3 B 35/08

H 0 4 N 5/225

Z

G 0 6 T 7/00

13/02

審査請求

有

請求項の数9

O L

(全21頁)

最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-67103 (P2000-67103)

(22) 出願日 平成12年3月10日 (2000.3.10)

(31) 優先権主張番号 特願平11-72592

(32) 優先日 平成11年3月17日 (1999.3.17)

(33) 優先権主張国 日本 (JP)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 吾妻 健夫

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(72) 発明者 魚森 謙也

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(74) 代理人 100077931

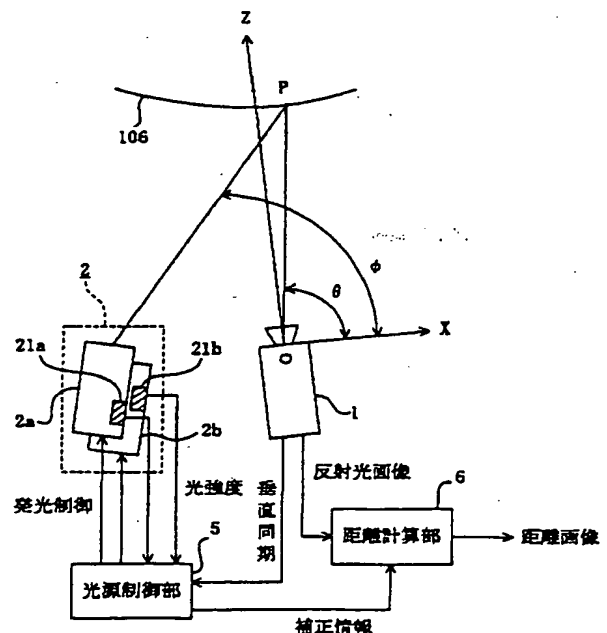
弁理士 前田 弘 (外1名)

(54) 【発明の名称】 レンジファインダ装置

(57) 【要約】

【課題】 レンジファインダ装置として、投射光の光強度の変動の影響を受けることなく、精度の高い3次元情報の計測を実行可能にする。

【解決手段】 光源部2には、投射光の光強度を検出する受光素子21a、21bが設けられている。カメラ部1によって撮像された反射光画像の光強度は、受光素子21a、21bによって検出された光強度を補正情報として用いて補正され、距離計算部6はこの補正された画像を用いて、距離画像を生成する。このため、たとえ投射光の光強度が変動したとしても、その変動による反射光画像の光強度の変動は補正される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光の強度が被写体上で少なくとも位置的に見て変化する投射光を投射する光源部と、前記投射光の前記被写体からの反射光を撮像するカメラ部と、前記カメラ部によって撮像された反射光画像から、前記被写体の 3 次元情報を生成する 3 次元情報生成部とを備え、

前記 3 次元情報生成部は、前記反射光画像における光強度を、前記投射光の光強度に
10 応じた補正情報に基づいて補正する光強度補正部を有し、この光強度補正部によって補正された画像を用いて、前記 3 次元情報を生成するものであることを特徴とするレンジファインダ装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載のレンジファインダ装置において、前記光源部は、互いに異なる投射パターンを有する複数の光を、投射するものであり、前記光強度補正部は、前記複数の光の反射光画像毎に、前記補正を行い、前記 3 次元情報生成部は、前記光強度補正部によって補正された各反射光画像の光強度比に基づいて、3 次元情報の生成を行うものであることを特徴とするレンジファインダ装置。

【請求項 3】 請求項 1 記載のレンジファインダ装置において、前記光源部から投射される投射光の光強度を検出し、前記補正情報として出力する受光素子を備えたことを特徴とするレンジファインダ装置。

【請求項 4】 請求項 1 記載のレンジファインダ装置において、
30 前記光強度補正部は、前記カメラ部の撮像画像内の所定領域の輝度を、前記補正情報として用いるものであることを特徴とするレンジファインダ装置。

【請求項 5】 請求項 1 記載のレンジファインダ装置において、前記光強度補正部は、前記反射光画像について、画像データから黒レベル成分を差し引くオフセット処理を施し、その後、補正を行うものであることを特徴とするレンジファインダ装置。
40

【請求項 6】 光の特性がその投射方向に応じて変化する投射光を投射する光源部と、前記投射光の被写体からの反射光を撮像するカメラ部と、前記カメラ部によって撮像された反射光画像から、前記被写体の 3 次元情報を生成する 3 次元情報生成部とを備え、前記 3 次元情報生成部は、前記反射光の光特性と前記投射光の投射方向との対応関係を記述したルックアップテーブルを複数個有し、カメ
50

ラ画像内の画素位置に応じて、前記複数のルックアップテーブルのいずれかをそれぞれ選択し、選択したルックアップテーブルを参照して、前記 3 次元情報を生成するものであることを特徴とするレンジファインダ装置。

【請求項 7】 請求項 6 記載のレンジファインダ装置において、前記複数のルックアップテーブルは、それぞれ、カメラ画像内のエビボーラ線に対応して、設けられていることを特徴とするレンジファインダ装置。

【請求項 8】 請求項 7 記載のレンジファインダ装置において、前記 3 次元情報生成部は、ルックアップテーブルが設けられていないエビボーラ線上の画素位置について、当該エビボーラ線近傍のエビボーラ線に対応して設けられたルックアップテーブルを補間して、ルックアップテーブルを得るものであることを特徴とするレンジファインダ装置。

【請求項 9】 請求項 7 記載のレンジファインダ装置において、前記光源部およびカメラ部は、前記光源部と前記カメラ部とを結ぶ直線が、ワールド座標系における X 軸に一致し、かつ、カメラ座標系における x 軸に平行になるように、設置されていることを特徴とするレンジファインダ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、物体の 3 次元形状または距離情報の計測を行うレンジファインダ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】図 2-4 は従来のレンジファインダ装置の構成の一例を示す図である。図 2-4 に示すレンジファインダ装置は、被写体に光を投射し、その観察画像から、三角測量の原理に基づいて 3 次元形状計測を行うものであり、実時間動作可能なものとして提案されたものである。

【0003】図 2-4 において、101A、101B は波長がわずかに異なるレーザ光源、102 はレーザ光源 101A、101B からのレーザ光を合成するハーフミラー、103 はレーザ光源 101A、101B の光強度を制御する光源制御部、104 はレーザ光を走査する回転ミラー、105 は回転ミラーを制御する回転制御部、106 は被写体、107 は CCD 上に像を結ぶためのレンズ、108A、108B はレーザ光源 101A、101B の波長の光を分離する光波長分離フィルタ、109A、109B はモノクロ画像を撮像する CCD、109C はカラー画像を撮像する CCD、110A、110B はモノクロカメラの信号処理部、111 はカラーカメラの信号処理部、112 は CCD 109A、109B によって撮影したレーザ光の強度から被写体の距離または形

3
 状態を計算する距離計算部、113は装置全体の同期を調整する制御部である。

【0004】図24に示すレンジファインダ装置の動作について説明する。

【0005】レーザ光源101A、101Bは波長がわずかに異なるレーザ光を発する。このレーザ光は、後述の回転ミラーの走査方向と垂直な光断面を有するスリット光であり、回転ミラーが水平方向に走査する場合は、垂直方向のスリット光となる。

【0006】図25は2つの光源101A、101Bの波長特性を示す図である。ここで、波長が近い2つの光源101A、101Bを用いるのは、被写体106の反射率の波長依存性の影響を受けにくくするためである。レーザ光源101A、101Bから発せられたレーザ光はハーフミラー102によって合成され、回転ミラー104によって被写体106に走査される。

【0007】回転制御部105はフィールド周期で回転ミラー104を駆動し、これによって、光源101A、101Bから投射されるレーザ光の走査が行われる。その際、光源制御部103は双方の光源101A、101Bの光強度を、1フィールド周期内で図26(a)に示すように変化させる。すなわち、レーザ光の光強度変化と回転ミラーの駆動とが同期して行われる。

【0008】レンズ107はCCD109A、109B、109C上に被写体の像を結ぶ。光波長分離フィルタ108Aは光源101Aの波長の光のみを透過し、他の波長の光を反射する。光波長分離フィルタ108Bは光源101Bの波長の光のみを透過し、他の波長の光を反射する。この結果、光源101A、101Bからの投射光の被写体106からの反射光は、それぞれ、CCD109A、109Bによって撮影され、他の波長の光はカラー画像としてCCD109Cによって撮影される。

【0009】光源A信号処理部110Aおよび光源B信号処理部110Bは、それぞれ、CCD109A、109Bの出力について、通常のモノクロカメラと同様の信号処理を行う。カラーカメラ信号処理部111はCCD109Cの出力について通常のカラーカメラの信号処理を行う。

【0010】距離計算部112はCCD109A、109Bの出力と、基線長および画素の座標値とから、各画素について距離計算を行う。

【0011】距離計算部112はCCD109A、109Bの出力から、レーザ光の反射光の光強度比を算出する。この光強度比から、一走査周期における時刻を測定することができ、この時刻から回転ミラー104の回転角 ϕ が得られる。例えば図26(b)に示すように、光強度比が I_{a0}/I_{b0} のときは、走査時刻は t_0 と測定され、その測定値から回転ミラー104の回転角 ϕ が分かる。この角度 ϕ は、光源側から見た被写体の角度に相当する。

【0012】走査時刻 t と回転ミラー104の回転角 ϕ との対応関係は予め分かっているため、図26(b)の横軸を回転角 ϕ に代えた、光強度比 I_a/I_b と回転角 ϕ との対応関係を示す別の特性テーブルを予め備えておいてもよい。この場合は、走査時刻 t を介することなく、算出された光強度比から直接回転角 ϕ を特定することができる。

【0013】図27は距離計算部112における距離計算を図形的に説明するための図である。図27において、Oはレンズ107の中心、Pは被写体上の点、Qは回転ミラーの回転軸の位置である。また、説明を簡単にするため、CCD109の位置を被写体側に折り返して示している。なお、 f は、CCD109とレンズ107の中心Oとの距離である。OQの長さすなわち基線長を L 、XZ平面内で回転軸位置Qから見た点Pの角度を ϕ 、XZ平面内でレンズ中心Oから見た点Pの角度を θ 、YZ平面内でレンズ中心Oからみた点Pの角度を ω とすると、図形的な関係より、点Pの3次元座標(X、Y、Z)は、以下の式によって計算される。

$$X = L \cdot \tan \phi / (\tan \theta + \tan \phi)$$

$$Y = L \cdot \tan \theta \cdot \tan \phi \cdot \tan \omega / (\tan \theta + \tan \phi)$$

$$Z = L \cdot \tan \theta \cdot \tan \phi / (\tan \theta + \tan \phi)$$

上式の角度 ϕ については、上述したように、CCD109A、109Bによってモニタした反射光の光強度比によって計算し、角度 θ 、 ω については、CCD109A、109B上の画素の座標値から計算する。

【0014】上式に従って、カメラ画像内の全ての画素について3次元座標(X、Y、Z)を計算することによって、被写体の3次元情報を算出することができる。また、Z座標値のみを計算すれば、距離画像を求めることができる。

【0015】また、光源側の機構が機械的な動作を行わない、低コストのレンジファインダ装置も提案されている。このレンジファインダ装置は、レーザ光源と回転ミラーのような光掃引手段を備える代わりに、互いに異なる2次元輻射パターンを持つ複数の光を投射できる光源部を有するものである。

【0016】すなわち、このレンジファインダ装置では、互いに異なる2次元輻射パターンを持つ複数の光を時分割で被写体に照射し、被写体からの反射光をカメラで撮像し、撮像した画像の光強度を用いて距離計測を行う。そして、距離計測時に、反射光の光強度比または光強度と投射光角度との対応関係を用いて、画像内の座標値に応じて、3次元情報を求める。

【0017】このような構成では、3次元計測が、全て電子的な動作によって実現されるので、装置の信頼性がより高くなり、計測性能が安定する。また、機械的な機構を必要としないので、コストが比較的低いという利点がある。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のレンジファインダ装置には、次のような問題がある。

【0019】まず、互いに異なる2次元輻射パターンを持つ複数の光を投射する光源部を備えたレンジファインダ装置では、その光源として、通常、キセノンフラッシュランプ等が用いられる。ところが、このようなフラッシュランプは、発光の度に、±5%程度の範囲内で、光強度が変動する。このため、被写体が同一であっても、反射光の光強度や光強度比が測定の度に変動することになる。また、この光強度の変動状態は、フラッシュランプ毎でも異なる。したがって、このような光強度の変動がないことを前提として被写体の距離計測を行う場合には、精度の高い距離計測が困難である。

【0020】また、レーザ光源を用いたレンジファインダ装置では、通常、レーザ光源から出射された光をレンズ系によって垂直方向に広げてスリット光とし、これを、回転ミラーによって掃引する。このような装置では、投射光の光強度は、水平方向にのみ変化し、垂直方向では一定であることを前提として、被写体の距離計測を行う。ところが、レンズシェーディングすなわちレンズ系の周辺減光の影響によって、スリット光の光強度が、スリット中央部に比べて両端部の方が弱くなる、という現象が生じる。このため、垂直方向においても光強度の変化が生じ、したがって、観測した反射光の光強度比と投射光の投射方向とが1対1に対応しないことになり、精度の高い距離計測が困難になる。また、2次元輻射パターンを持つ複数の光を投射する場合であっても、同様の問題が生じる可能性がある。

【0021】前記の問題に鑑み、本発明は、レンジファインダ装置として、投射光の光強度の変動の影響を受けることなく、精度の高い3次元情報の計測を実行可能にすることを課題とする。

【0022】また、本発明は、レンジファインダ装置として、反射光の光特性と投射光の投射方向とがカメラ画像内において1対1に対応していない場合であっても、精度の高い3次元情報の計測を実行可能にすることを課題とする。

【0023】

【課題を解決するための手段】前記の課題を解決するために、請求項1の発明が講じた解決手段は、レンジファインダ装置として、光の強度が被写体上で少なくとも位置的に見て変化する投射光を投射する光源部と、前記投射光の前記被写体からの反射光を撮像するカメラ部と、前記カメラ部によって撮像された反射光画像から前記被写体の3次元情報を生成する3次元情報生成部とを備え、前記3次元情報生成部は、前記反射光画像における光強度を前記投射光の光強度に応じた補正情報に基づいて補正する光強度補正部を有し、この光強度補正部によって補正された画像を用いて前記3次元情報を生成する

ものである。

【0024】請求項1の発明によると、カメラ部によって撮像された反射光画像の光強度は、光強度補正部によって、投射光の光強度に応じた補正情報に基づいて補正される。そして、3次元情報生成部は、光強度補正部によって補正された画像を用いて3次元情報を生成する。このため、たとえ投射光の光強度が変動したとしても、その変動による反射光画像の光強度の変動は光強度補正部によって補正される。したがって、投射光の光強度の変動の影響を受けることなく、精度良く3次元情報を生成することができる。

【0025】請求項2の発明では、前記請求項1のレンジファインダ装置において、前記光源部は互いに異なる投射パターンを有する複数の光を投射するものとし、前記光強度補正部は前記複数の光の反射光画像毎に前記補正を行うものとし、前記3次元情報生成部は前記光強度補正部によって補正された各反射光画像の光強度比に基づいて3次元情報の生成を行うものとする。

【0026】請求項3の発明では、前記請求項1のレンジファインダ装置は、前記光源部から投射される投射光の光強度を検出し、前記補正情報として出力する受光素子を備えたものとする。

【0027】請求項4の発明では、前記請求項1のレンジファインダ装置における光強度補正部は、前記カメラ部の撮像画像内の所定領域の輝度を前記補正情報として用いるものとする。

【0028】請求項5の発明では、前記請求項1のレンジファインダ装置における光強度補正部は、前記反射光画像について画像データから黒レベル成分を差し引くオフセット処理を施し、その後補正を行うものとする。

【0029】また、請求項6の発明が講じた解決手段は、レンジファインダ装置として、光の特性がその投射方向に応じて変化する投射光を投射する光源部と、前記投射光の被写体からの反射光を撮像するカメラ部と、前記カメラ部によって撮像された反射光画像から前記被写体の3次元情報を生成する3次元情報生成部とを備え、前記3次元情報生成部は、前記反射光の光特性と前記投射光の投射方向との対応関係を記述したルックアップテーブルを複数個有し、カメラ画像内の画素位置に応じて、前記複数のルックアップテーブルのいずれかをそれぞれ選択し、選択したルックアップテーブルを参照して前記3次元情報を生成するものである。

【0030】請求項6の発明によると、3次元情報生成部は、反射光の光特性と投射光の投射方向との対応関係を記述した複数のルックアップテーブルを有し、その中から、カメラ画像内の画素位置に応じて、いずれかのルックアップテーブルを選択される。このため、たとえ、反射光の光特性と投射光の投射方向との対応関係がカメラ画像内で1対1に対応していなくても、画素位置に応じて選択されたルックアップテーブルが参照されるの

で、精度よく、3次元情報を生成することができる。

【0031】請求項7の発明では、前記請求項6のレンジファインダ装置における複数のルックアップテーブルは、それぞれ、カメラ画像内のエビポーラ線に対応して設けられているものとする。

【0032】請求項7の発明によると、エビポーラ線上では、反射光の光特性と投射光の投射方向とは必ず1対1に対応するので、ルックアップテーブルをエビポーラ線に対応して設けることによって、複数のルックアップテーブルを効率よくかつ経済的に設けることができる。したがって、実用的な計算量と記憶容量の範囲で、精度よく、3次元情報を生成することができる。

【0033】請求項8の発明では、前記請求項7のレンジファインダ装置における3次元情報生成部は、ルックアップテーブルが設けられていないエビポーラ線上の画素位置について、当該エビポーラ線近傍のエビポーラ線に対応して設けられたルックアップテーブルを補間して、ルックアップテーブルを得るものとする。

【0034】請求項9の発明では、前記請求項7記載のレンジファインダ装置における光源部およびカメラ部は、前記光源部と前記カメラ部とを結ぶ直線がワールド座標系におけるX軸に一致しかつカメラ座標系におけるx軸に平行になるように、設置されているものとする。

【0035】請求項9の発明によると、エビポーラ線は、カメラ画像内において、x軸に平行になる。したがって、ルックアップテーブルの構築や、距離計算が格段に容易になる。

【0036】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

【0037】(第1の実施形態) 図1は本発明の第1の実施形態に係るレンジファインダ装置の構成を示す図である。図1において、光源部2は2個のフラッシュランプの光源2a、2bから構成されており、光の強度が被写体106上で位置的に見て変化する投射光を投射する。カメラ部1は光源部2から投射された投射光の被写体106からの反射光を撮像する。光源制御部5はカメラ部1の垂直同期信号に同期して、光源2a、2bをフレーム周期またはフィールド周期毎に交互に発光させる。3次元情報生成部としての距離計算部6は、カメラ部1によって撮像された反射光画像から、被写体106の3次元情報としての距離画像を生成する。

【0038】また、光源部2の各光源2a、2bには、各光源2a、2bから出射される光強度をそれぞれ検出する受光素子21a、21bが設けられている。受光素子21a、21bによって検出された光強度は、光源制御部5に送られ、さらに、距離計算部6に所定の補正情報として送られる。距離計算部6では、この補正情報に基づいて反射光画像が補正され、補正された画像を用いて、距離画像が生成される。

【0039】図2(a)は光源2a、2bの構成例を示す斜視図である。図2(a)に示すように、光源2a、2bとしては例えば、キセノンフラッシュランプ等の閃光光源7、8を同一軸上に縦に配置し、後方の反射板9、10の光反射方向の範囲を上記軸を基準として所定角度だけずらした構成を用いる。また、受光素子21a、21bは、反射板9、10にそれぞれ設けられたフォトダイオードによって構成され、各光源2a、2bから出射される光強度を検出する。図2(b)は図2(a)の構成の平面図である。図2(b)に示すように、光源2a、2bはそれぞれ範囲A、Bに光を輻射(投射)する。ここで用いるキセノンランプは、発光部分が小さく、平面的に見て点光源とみなせるものが望ましい。

【0040】図3は図2に示す光源2a、2bから輻射される光パターンを示す図である。図3において、実線La、Lbは、光源2a、2bから架空のスクリーンYに光を投射した場合におけるスクリーン面の明るさを示している。明るさの程度は実線La、Lbの一方向の高さによって表されている。図3から分かるように、各光源2a、2bの投射光は、投射方向の中心軸上が最も光強度が強く(すなわち最も明るく)、周辺になるほど光強度が弱く(すなわち暗く)なる特性を持つ。この特性は、半円筒状の反射板9、10が閃光光源7、8の背後に配置されていることに起因する。反射板9、10の向きによって、各光源2a、2bの投射光はその一部が重なっている。

【0041】図4は図3の水平方向(H方向)における位置と光強度との関係を示すグラフである。図4に示す光パターンの部分aでは、光源2a、2bから被写体空間に照射される光は、光源から見て、一方は右側が明るく左側が暗い光、他方は左側が明るく右側が暗い光になっている。ここで、部分aにおける光源2a、2bの光強度の特性を、それぞれIa、Ibと表すものとする。ただし、図4はカメラ部1のレンズ中心を通り、かつ、y座標が所定値(例えば0)の平面上の光強度特性を示すものであり、光強度特性の分布は、y座標値に応じて異なる。

【0042】図5は図4の部分aにおける、光源部2からの投射光角度 ϕ と光強度比 Ib/Ia との関係を示すグラフである。図5に示すように、部分aでは、光強度比 Ib/Ia と投射光角度 ϕ とは1対1対応の関係にある。

【0043】距離測定のためには、事前に、2種類の光パターンを垂直に立てられた平面に交互に投射し、この反射光をカメラ部1によって撮像した結果から、図5に示すような光強度比と投射光角度との関係を各y座標毎に予め得ておく必要がある。そして、カメラ部1のレンズ中心と光源部2とを結ぶ線分が撮像面のx軸と平行になるように光源部2を配置すれば、予め得たy座標毎の光

強度比と投射光角度との関係のデータを用いることによって、正確な距離計算を行うことができる。

【0044】図6は距離計算部6の内部構成を示す図である。図6に示すように、距離計算部6は、カメラ部1によって撮像された反射光画像信号をフレーム毎に一時的に格納する第1および第2の画像メモリ61a、61bと、第1および第2の画像メモリ61a、61bに格納された画像の光強度を補正情報を用いてそれぞれ補正する第1および第2の光強度補正部62a、62bと、各光強度補正部62a、62bによって補正された画像の光強度から光強度比を計算する光強度比計算部63と、計算された光強度比から被写体106の距離画像を生成する距離画像生成部64とを備えている。

【0045】光源2aの投射光による反射光画像は第1の画像メモリ61aに格納され、光源2bの投射光による反射光画像は第2の画像メモリ61bに格納される。また補正情報のうち、受光素子21aによって検出された光強度は第1の光強度補正部62aに与えられ、受光素子21bによって検出された光強度は第2の光強度補正部62bに与えられる。

【0046】さらに、第1および第2の光強度補正部62a、62bには、それぞれ、光強度補正のために用いる基準値 I_{ra} 、 I_{rb} が予め格納されている。例えば、各光源2a、2bから投射された現実の光強度を受光素子21a、21bによってそれぞれ複数回計測し、計測値の平均値を、基準値 I_{ra} 、 I_{rb} として第1および第2の光強度補正部62a、62bにそれぞれ格納する。

【0047】以下、本実施形態に係るレンジファインダ装置の距離計算の動作について、説明する。ここでは、図1の被写体106上の点Pを着目点とし、点Pの奥行き値Z（Z軸座標値）の計算を行う場合について説明し、特に、距離計算部6における光強度の補正動作について、詳細に説明する。

【0048】図7は本実施形態に係るレンジファインダ装置の動作を示すタイミングチャートである。

【0049】図7に示すように、まず光源制御部5が、カメラ部1の垂直同期信号（図7（a））に同期して、フレーム周期またはフィールド周期毎に発光制御信号a、b（図7（b）、（c））を交互に出力し、これにより光源2a、2bを交互に発光させる。受光素子21a、21bは各光源2a、2bの光強度を順次検出する。光源制御部5は受光素子21a、21bによって検出された光強度を、図7（d）、（e）に示すタイミングでそれぞれ取り込む。

【0050】カメラ部1は、反射光画像の撮像を時分割で行う。すなわち、第1の撮像期間において、光源2aの投射光による反射光画像を撮像し、第2の撮像期間において、光源2bの投射光による反射光画像を撮像する。光源2aの投射光による反射光画像は第1の画像メ

モリ61aに書き込まれ、光源2bの投射光による反射光画像は第2の画像メモリ61bに書き込まれる。

【0051】光源制御部5は、受光素子21aによって検出された光源2aの光強度データを、補正情報 I_{sa} として距離計算部6の光強度補正部62aに送る。同様に、受光素子21bによって検出された光源2bの光強度データを、補正情報 I_{sb} として光強度補正部62bに送る。

【0052】次に、距離計算部6は、距離画像の生成を行う。

【0053】まず、光強度補正部62a、62bは、各画像メモリ61a、61bに書き込まれた反射光画像を、光源制御部5から送られた補正情報 I_{sa} 、 I_{sb} と予め格納した基準値 I_{ra} 、 I_{rb} とを用いて補正する。

【0054】すなわち、光強度補正部62aは、予め格納している基準値 I_{ra} と送られてきた補正情報 I_{sa} とを用いて換算比 I_{ra}/I_{sa} を計算し、この換算比 I_{ra}/I_{sa} を画像メモリ61aに格納された反射光画像の各光強度データに乘算する。この乗算結果は、補正された光強度 I_a として光強度比計算部63に出力される。光強度補正部62bも同様に、予め格納している基準値 I_{rb} と送られてきた補正情報 I_{sb} とを用いて換算比 I_{rb}/I_{sb} を計算し、この換算比 I_{rb}/I_{sb} を画像メモリ61bに格納された反射光画像の各光強度データに乘算する。この乗算結果は、補正された光強度 I_b として光強度比計算部63に出力される。

【0055】光強度比計算部63は、補正された光強度 I_a 、 I_b を用いて、光強度比 I_b/I_a を計算し、距離画像生成部64に出力する。

【0056】距離画像生成部64は、図5に示すような光強度比 I_b/I_a と投射光角度 ϕ との対応関係と、画素座標値 x と角度 θ との対応関係とを用いて、全ての画素について、角度 ϕ 、 θ を特定し、距離Zを求め、距離画像として出力する。

【0057】距離画像生成部64には、事前の測定によって、図5に示すような光強度比と投射光角度 ϕ との対応関係が、各y座標毎に準備されている。距離画像生成部64は、点Pのy座標値に対応した光強度比と角度 ϕ との対応関係を選択し、選択した対応関係から、点Pの投射光角度 ϕ を特定する。また、カメラ部1から見た点Pに対する角度 θ を、点Pの画素座標値およびカメラパラメータ（焦点距離 f 、レンズ系の光学中心位置）から決定する。そして、求めた2つの角度 ϕ 、 θ と、光源位置とカメラ部の光学中心位置間の距離すなわち基線長 D とから、三角測量の原理によって、点Pの奥行き値Zを計算する。

【0058】すなわち、カメラ部1の光学中心を原点とし、カメラ部1の光軸方向をZ軸、水平方向にX軸、垂直方向にY軸を設定し、光源部2からみた着目点Pの方

向がX軸となす角を ϕ 、カメラ部から見た着目点の方向とX軸となす角を θ 、光源位置を $(-D, 0, 0)$ すな*

$$Z = D \cdot \tan \theta \cdot \tan \phi / (\tan \theta - \tan \phi) \quad \dots (1)$$

【0059】このように、カメラ部1によって撮像された反射光画像における光強度を、補正情報によって補正することによって、より一層精度の高い距離画像を得ることができる。

【0060】また、ここでは、距離計算部6は3次元情報として距離Zのみを計算し、計算結果を距離画像として出力するものとしたが、これに限らず、例えば、図8に示す角度 ω を用いて、式(2)より3次元座標値X、Y、Zを全て計算し、被写体の3次元情報として出力する構成としてもよい。

$$X = Z / \tan \theta$$

$$Y = Z \cdot \tan \omega \quad \dots (2)$$

【0061】なお、本実施形態では、光強度補正部62a、62bにおける補正は、換算比 I_{ra}/I_{sa} 、 I_{rb}/I_{sb} を光強度データに乘算するという簡易な処理によって行うものとしたが、これに限らず例えば、上記乗算の前に、オフセット処理を施すことが望ましい。

【0062】例えば、画像メモリ61a、61bに格納された反射光画像について、画像データから黒レベル成分(例えば「10」)を差し引くオフセット処理を施し、その後、換算比 I_{ra}/I_{sa} 、 I_{rb}/I_{sb} を乗算することによって補正を行う。黒レベル成分の値は、予め一度だけ測定しておけばよい。このような処理を行うことによって、光源の発光強度が5%程度変動する場合に、測定誤差を、補正を一切行わないときの10%程度に低減できる。すなわち、より精度の高い補正が可能になる。

【0063】また、黒レベル成分を差し引く代わりに、投射光のない状態すなわち背景光のみのときの反射光画像の光強度を差し引くオフセット処理を実行してもよい。この場合には、背景光の影響のみならず黒レベル成分の影響も相殺されるので、さらに高精度の補正が可能になる。

【0064】図9は距離計算部の内部構成の他の例を示す図である。図9に示す距離計算部6Aは、図6の構成における光強度補正部62a、62bおよび光強度比計算部63の代わりに、換算比毎にルックアップテーブル(LUT)を有する光強度比計算用LUT部71を、光強度補正部として備えている。

【0065】図9の構成では、光源制御部5から送られるあらゆる補正情報に対応可能なように、光強度比計算に必要な範囲の換算比について、LUTを準備する必要がある。例えば、光源2a、2bの発光強度が基準発光強度に対して $\pm 5\%$ 程度変動する場合には、0.95~1.05の範囲の換算比について、LUTを設ける必要がある。そして、各LUTには、光強度データに応じてそれぞれ、その換算比によって補正された光強度比デー

*わち基線長をDとすると、着目点Pの奥行き値Zは式(1)で計算される。

タが格納されている。

【0066】光強度比計算用LUT部71は、光源制御部5から送られた補正情報から補正のための換算比を求め、求めた換算比に対応したLUTを選択する。そして、各画像メモリ61a、61bから光強度データを画素毎に抽出し、各光強度データに応じた、補正された光強度比を、選択したLUTを参照して直接得て、距離画像生成部64に出力する。

【0067】なお、本実施形態では、光源2a、2bを時分割に発光させる構成としたが、これに限らず例えば、同時に発光させる構成としてもよい。これにより、計測時間の短縮も可能となる。ただし、この場合、光源2a、2bの光波長を互いに異ならせるとともに、カメラ部1に、各波長のみを選択的に受光できるフィルター素子を設ける必要がある。

【0068】また、本実施形態では、受光素子21a、21bを光源2a、2b内に設けるものとしたが、これに限らず、光源2a、2bの光強度を検出可能な場所であれば、光源2a、2bの外部に設けてもかまわない。

【0069】<第1の実施形態の変形例>上述した実施形態では、所定の補正情報を得るために、光源2a、2bの光強度を検出する受光素子21a、21bを設けるものとしたが、補正情報を得るためには、必ずしも受光素子を設ける必要はない。

【0070】図10は本実施形態の変形例に係る距離計算部の内部構成の例を示す図である。ここでは、カメラ部1の撮像画像内の所定領域の輝度を、所定の補正情報として用いるものとしている。すなわち、第1の光強度補正部62aは、第1の画像メモリ61aに格納された撮像画像データの所定領域の輝度を、補正情報として用い、第2の光強度補正部62bは、第2の画像メモリ61bに格納された撮像画像データの所定領域の輝度を、補正情報として用いる。この場合、例えば、撮像する領域内に例えば白紙のような明るさの基準となる物体を配置し、この物体の撮像画像の輝度を補正情報として用いればよい。

【0071】(第2の実施形態)図11は本発明の第2の実施形態に係るレンジファインダ装置の構成を示す図である。図11において、図24に示す従来の構成と共通の構成要素には図24と同一の符号を付しており、ここではその詳細な説明を省略する。図11において、210A、210Bはレーザー光源である。レーザー光源210A、210B、ハーフミラー102および回転ミラー104によって光源部200が構成されており、レンズ107、光波長分離フィルタ108A、108B、CCD109A、109B、および信号処理部110A、110Bによってカメラ部300が構成されてい

る。

【0072】なお、本実施形態では、3次元位置を表すために、カメラ視野での座標系としてx-y座標系（これを「カメラ座標系」と呼ぶ）を、また、現実の空間での座標系としてX-Y-Z座標系（これを「ワールド座標系」と呼ぶ）を用いる。

【0073】図12は図11の構成における光源210Aに係る光学系の構成を示す図である。図12において、211はレーザ光源210Aと回転ミラー104との間に配置され、光源210Aからの光束をスリット光212に成形し、かつ、回転ミラーの中心104aに収束させるためのレンズである。なお、光源210Bに係る光学系も、図12と同様である。

【0074】図12(a)に示す光学系では、スリット光212の収束点213が回転ミラーの中心104aに一致しており、最も望ましい構成といえる。一方、図12(b)に示す光学系のように、スリット光212の収束点213が回転ミラーの中心104aと必ずしも一致しない場合があり得る。この場合、原理的には、収束点213と中心104aとの間隔が距離計測の誤差の原因となる。ところが、この間隔は比較的小さくすることができ、また、後述するように、較正面までの距離測定値が既知のZ値と一致するようにルックアップテーブル(LUT)の計算を行うため、実用上問題とはならない。

【0075】また、LUT保持部220は、図26について述べたような、各光源210A、210Bからの投射光の反射光の光強度比と回転ミラーの回転角（すなわち光源210A、210Bからの光投射角度）との1対1の対応関係を示すLUTを、複数種類保持している。距離計算部230は、カメラ画像内の画素位置に応じて、LUT保持部220に保持されている複数のLUTのうちのいずれかを選択し、その選択したLUTを用いて3次元情報としての距離画像を生成する。LUT保持部220および距離計算部230によって3次元情報生成部400が構成されている。

【0076】図13はLUT保持部220および距離計算部230の内部構成を示す図である。CCD109AおよびCCD109Bによって撮像された画像データは、光強度比計算部231において、各画素毎に光強度比に変換される。座標値生成部232は、制御部113から与えられる画像データの同期信号からx座標値、y座標値を生成する。LUT選択部233は座標値生成部232によって生成されたy座標値に応じて、参照するLUT221を選択する。

【0077】選択されたLUT221は、光強度比計算部231によって求められた光強度比の値を投射光角度情報 $1/\tan\phi$ に変換する。一方、座標値生成部232によって生成されたx座標値は、変換部234において、カメラからの角度情報 $1/\tan\theta$ に変換される。

演算部235は、基線長Dおよび角度情報 $1/\tan\theta$ 、 $1/\tan\phi$ から、次式(3)にしたがって、Z値を計算する。

【0078】

【数1】

$$Z = \frac{D}{\frac{1}{\tan\theta} - \frac{1}{\tan\phi}} \quad \dots\dots(3)$$

【0079】上式(3)は、第1の実施形態で述べた式(1)の右辺の分母分子を $\tan\theta \cdot \tan\phi$ で除したものに相当し、本質的には式(1)と同等である。ただし、計測時には θ 、 ϕ ともに 90° 付近の値を用いるため、数値計算時には、 θ 、 ϕ が 90° のとき値が不定となる $\tan\theta$ 、 $\tan\phi$ の代わりに $1/\tan\theta$ 、 $1/\tan\phi$ を角度情報として用いた方が、計算が安定する。

【0080】ここで、光強度データをそれぞれ8ビットとし、各LUT221から出力される投射光角度情報 $1/\tan\phi$ を2バイトで表すものとする、LUT221の1個当たりのサイズは、およそ130KB（ $\approx 2^8 \times 2^8 \times 2$ ）になる。

【0081】以下、本実施形態に係るレンジファインダ装置の動作について説明する。なお、3次元座標値(X, Y, Z)を求める主な基本的な動作は、図27を用いて説明したものと同様である。本実施形態の特徴は、投射光角度 ϕ を求める際に、カメラ画像上の画素位置に応じて、LUTを使い分ける点にある。

【0082】図14は本実施形態におけるカメラ画像とLUTとの対応関係を示すための模式図である。図14では、説明を簡単にするために、5本のCCDライン1001~1005のみを示している。そして、CCDライン1001に対してLUT1が、CCDライン1003に対してLUT2が、そしてCCDライン1005に対してLUT3が、予めそれぞれ準備されているものとする。なお実際には、LUTを設けるCCDラインは10本程度であれば良い。これらのLUTは、それぞれ、本レンジファインダ装置の設計・製造段階において、予め作成しておく。

【0083】本実施形態では、各LUTを、エビボーラ線に対応して設けている。「エビボーラ線」とは、空間中の直線を撮影したときにカメラ画像上に映る直線のことをいい、ここでは、光源から投射された直線レーザ光が映る直線のことをいう。

【0084】そして、本実施形態では、各CCDライン1001~1005がエビボーラ線と一致するように、言い換えると、エビボーラ線がカメラ画像上で水平に並ぶように、カメラの設置条件を定めている。具体的には、カメラのレンズ中心107aと回転ミラーの中心104aとを結ぶ直線がワールド座標系のX軸上にくるよ

うにし、かつ、この直線がカメラ座標系のX軸と平行となるように、カメラの配置を決める必要がある。

【0085】そして、1本のエビボラー線に対応する3次元空間上の面においては、光強度比と投射光角度との対応関係が必ず1対1となる。したがって、エビボラー線毎にLUTを設けることによって、光強度の分布にばらつきがあり、たとえ反射光の光特性と投射光の投射方向との対応関係がカメラ画像内で1対1に対応していなくても、高精度に、距離計算を実行することができ、かつ、複数のLUTを効率よくかつ経済的に設けることができる。

【0086】すなわち、距離計算部230は、CCDの各画素について光強度比を計算するとともに、その着目画素Pのカメラ座標系での座標値P(x, y)を得て、いずれのLUTを用いるかを決定する。例えば着目画素Pが、図14に示すように、CCDライン1001上にあるときはLUT1を用い、CCDライン1003、1005上にあるときは、それぞれLUT2、LUT3を用いる。また、着目画素Pが、対応するLUTを持たないCCDライン1002上にあるときは、その近傍のCCDライン1001、1003に対応して設けられたLUT1、LUT2を、線形補間して用いる。

【0087】LUTを用いて投射光角度を特定すると、その後の処理は、図27を用いて説明したものと同様である。このように、着目画素が存在するCCDラインすなわちエビボラー線に応じて適切なLUTを選択するので、例えばレンズ系に周辺減光があっても、精度の高い距離計算を実行できる。

【0088】次に、エビボラー線に関する理論的な説明を交えて、本実施形態に係る動作原理について説明する。

【0089】図15は本実施形態に係るレンジファインダ装置の動作原理を説明するための図であり、ワールド座標系に基づいて表した模式的な斜視図である。また、図16は図15の略示平面図である。

【0090】図15および図16の配置では、上述したカメラの設置条件を満たしており、カメラ1104のレンズ中心107aと回転ミラーの中心104aとがワールド座標系のX軸上にくるように配置されている。また光源1105は、動作原理を説明するための仮想の光源装置であり、図25に示すような2種類の光パターンのレーザ直線光を時分割で照射する光源である。

【0091】また、CP1、CP2は、Z座標値がそれぞれZ1、Z2(Z1<Z2)の位置に置かれた較正面である。図15では、較正面CP1、CP2は、カメラ1104の視野に映る範囲の上側半分のみが描かれている。カメラ視野の下側半分は上側半分と対称形であるので、図を簡単にするため、図15では図示を省略している。

【0092】ここで、着目点と回転ミラー104の回転

軸とを含む鉛直面と、X軸との間の角度を ϕ とする。例えば、着目点PA1と回転ミラー104の回転軸とを含む鉛直面VPAとX軸との間の角度を ϕ_A とし、着目点PB1と回転ミラー104の回転軸とを含む鉛直面VPBとX軸との間の角度を ϕ_B とする。

【0093】また、着目点と視点(レンズ中心107aまたは回転ミラーの中心104a)とを結ぶ直線のYZ平面への射影がZ軸となす角を、あおり角 ω と定義する。ここでは、カメラの設置条件から、レンズ中心107aと回転ミラーの中心104aとの双方がX軸上にあるため、レンズ中心107aを視点としたときと回転ミラーの中心104aを視点としたときとで、同じ着目点を見たときのあおり角は、常に同一になる。また、角度 θ は図15に示すとおりである。

【0094】光源1105から出力されるレーザ直線光は、回転ミラーの中心104aの1点で反射し、回転ミラー104の回転によって掃引される。またこれとともに、光源1105は、その姿勢を変えることによって、レーザ直線光の出射角 ω_L を順次変化させる。この出射角 ω_L は上述したあおり角 ω に相当する。

【0095】このような光源1105を想定したのは、現実の光源部の投射光におけるY軸方向の周辺減光を表現するためである。すなわち、現実の光源部はY軸に平行なスリット光を掃引照射する装置であり、投射光の光強度は、掃引方向(X軸方向)に応じて変化するように調整されている。ところが実際には、Y軸方向に関しても、スリット光の中央部に比べて周辺付近で光強度が減少する、いわゆる周辺減光という現象が生じる。そこで、レーザ直線光を照射する光源1105を想定し、出射角 ω_L をパラメータとして、現実の光源部での周辺減光を再現している。

【0096】なお、空間中に1本の直線光を照射し、較正面のZ座標値を0から無限大まで変化させたとき、その較正面上での反射点は、カメラ画像上では、y座標値一定の直線の軌跡として撮像される。この直線が、上述したエビボラー線に相当する。

【0097】また、同一方向に対して2種類の光強度 I_a 、 I_b の光を交互に光らせたときの光強度比 $\rho = I_a / I_b$ に着目すると、角度 ϕ に関して同一方向であれば、その光強度比 ρ は、光の進む距離に無関係に一定であるとみなすことができる。このため、ここでの説明では、理解を容易にするために、同一方向に照射される直線光として、光強度比が一定の直線光を想定する。

【0098】図17はカメラ画像上における各着目点PA1、PA2、PB1、PB2の位置とCCDラインとの関係を示す模式図である。PA1、PA2は、光強度比 ρ_A (一定値)の直線光LAと較正面CP1、CP2との交点である。また、PB1、PB2は、光強度比 ρ_B (一定値)の直線光LBと較正面CP1、CP2との交点である。

【0099】図15、図16および図17から、次のことがいえる。

【0100】(1) 直線光LAは、較正面CP1上の点PA1を通るので、点PA1とレンズ中心107aとを含み、Z軸からのあおり角 ω によって決定される平面LP1(交差する斜線を施した面)と同一の平面に含まれる。

【0101】(2) また直線光LAは、較正面CP2上の点PA2を通るので、点PA2とレンズ中心107aとを含み、Z軸からのあおり角 ω によって決定される平面LP2(斜線を施した面)と同一の平面に含まれる。

【0102】(3) 平面LP1と平面LP2とは同一平面であり、カメラ座標系のx-y平面上において、点PA1、PA2は同一CCDライン(図17ではCCDライン1001)上に左右に離れて映る。すなわち、光強度比が一定の直線光LAに関して、着目点のZ座標値が異なると、その反射光によるカメラ座標系での画素位置は、必ず、同一CCDライン上の異なる位置になる。

【0103】(4) あおり角 ω を変えずに、回転角 ϕ を ϕA から ϕB に変えた直線光LBについても、上記(1)～(3)と同様のことがいえる。すなわち、直線光LBは、較正面CP1上の点PB1とレンズ中心107aとを含み、Z軸からのあおり角 ω によって決定される平面と、較正面CP2上の点PB2とレンズ中心107aとを含み、Z軸からのあおり角 ω によって決定される平面に含まれる。したがって、較正面CP1上の点PA1、PB1を結ぶ直線LZ1と、較正面CP2上の点PA2、PB2を結ぶ直線LZ2とは、図17に示すカメラ座標系でのCCDライン1001上に必ず存在する。

【0104】これらのことから、次のことが分かる。

【0105】第1に、所定のあおり角 ω の平面LP1、LP2に含まれる全ての着目点は、そのZ座標値に関わらず、カメラ画像上では、y座標値が同一の1本のCCDライン1001上に撮像される。

【0106】第2に、光強度比 ρ が一定の1本の直線光LAについて見ると、Z座標値が異なる各点からの反射光は、カメラ画像上ではy座標値が同一の1本のCCDライン1001上に位置するが、そのx座標値は必ず互いに異なる。このため、x座標値から、各点の区別は可能になる。

【0107】第3に、カメラ画像上の同一画素位置に、空間上の位置が互いに異なる複数の点からの反射光が受光されたとしても、各点からの反射光の光強度比は、必ず、互いに異なる。したがって、この場合も、観測された光強度比から、各点の区別が可能である。

【0108】したがって、本実施形態のように、(a) y座標値一定のCCDライン毎に適切なLUTを予め設けておき、(b) カメラ画像上の画素位置(x, y)とその画素位置で観測された光強度比 ρ との双方を求め、

(c) その画素位置に対応するCCDラインに対応するLUTを選択し、(d) 選択したLUTを用いて、その画素位置に対応する被写体上の着目点PのZ座標値を特定することができる。

【0109】LUTの作成は、例えば次のように行う。Z値が既知の位置に較正面(鉛直面)を配置し、この較正面に光源210A、210Bから光を照射する。そして、較正面までの距離測定値が既知のZ値と一致するように、各y座標に対するLUTを作成する。このとき、原理上、較正面は1つでもよいが、複数の較正面からLUTを作成することによって、実用上、測定精度を改善できる。

【0110】なお、全てのCCDラインについて、LUTを準備してもかまわない。または、所定間隔の特定のCCDラインについてのみLUTを設けて、LUTを設けないCCDライン上の画素については、その近傍、例えばその上下のCCDラインに対して設けられたLUTを線形補間して、LUTを作成してもよい。

【0111】また、LUTの代わりに、光強度比 ρ と画素位置(x, y)とをパラメータとして、カメラ画像全体で、関数フィティングを行ってもよい。

【0112】(第3の実施形態) 上述した第2の実施形態では、エビボーラ線がカメラ座標系のx軸と平行になり、CCDラインと一致するように、カメラの設置条件を定める必要があった。すなわち、カメラのレンズ中心107aと回転ミラーの中心104aとを結ぶ直線がワールド座標系のX軸上にくるようにし、かつ、この直線がカメラ座標系のx軸と平行となるように、カメラの配置を決める必要がある。このため、カメラおよび光源の配置の自由度が小さい。

【0113】本発明の第3の実施形態では、第2の実施形態よりも、さらに、カメラおよび光源の配置の自由度を拡大するものである。すなわち、基本的な構成および動作は第2の実施形態と同様であるが、カメラの設置条件や、エビボーラ線の設定の仕方、LUTの作成方法、および距離計算部の動作が相違する。

【0114】図18は本実施形態に係るレンジファインダ装置の動作原理を説明するための図であり、ワールド座標系に基づいて表した模式的な斜視図である。

【0115】本実施形態におけるカメラ設置条件は、次の通りである。

【0116】カメラ1104のレンズ中心107aをワールド座標系の原点とし、カメラ1104の光軸をZ軸と一致させ、カメラ座標系のx軸方向(CCDラインの方向)とX軸とを一致させる。ただし、回転ミラーの中心104aがX軸上にあることは、必要としない。この点で、第2の実施形態よりも配置の自由度が拡大している。

【0117】本実施形態におけるカメラ設置条件では、第2の実施形態と異なり、エビボーラ線は、カメラ画像

上で平行な直線にはならない。したがって、LUTを作成するためには、まず、エビポーラ線のカメラ画像上での形状を求める必要がある。

【0118】＜エビポーラ線の形状の決定＞図19は本実施形態におけるエビポーラ線の形状を表す図である。図19(b)に示すように、本実施形態では、各エビポーラ線は、消失点S(xm, ym)から放射状に広がる直線となる。そこで、消失点Sの座標値を決定すること*

$$u = (\cos \omega \cdot \cos \phi, \sin \omega, \cos \omega \cdot \sin \phi) \quad \cdots (4)$$

さらに、 ω の項と ϕ の項とを分離するために、式(4)の各成分を $\cos \omega$ で除し、方向ベクトルUとして定義する。

$$U = (\cos \phi, \tan \omega, \sin \phi) \quad \cdots (5)$$

方向ベクトルUを用いる理由は、式(5)では、X成分とZ成分は ϕ のみで表され、Y成分は ω のみで表されるため、式(4)の単位ベクトルuを用いるよりも、計算が容易になるからである。

【0121】各角度の定義は図18に示す通りである。なお、本実施形態における角度 ω は、第2の実施形態で定義したあおり角ではなく、単位方向ベクトルuとXZ平面とのなす角である。

【0122】次に、図19(a)に示すように、Z座標値Z1, Z2が既知の複数の較正面CP1, CP2に対して、回転中心104aから、カメラ画像上においてエビポーラ線が互いに異なり、かつ、光強度比($\rho 1, \rho 2, \rho 3$)が互いに異なる複数の(図では3本の)直線光L1, L2, L3を照射する。P11, P21, P31は各直線光L1, L2, L3の較正面CP1での反射点であり、P12, P22, P32は各直線光L1, L2, L3の較正面CP2での反射点である。

【0123】また、図19(b)には、6個の反射点P11~P32のカメラ画像上の撮像位置と、2つの較正面CP1, CP2間の3本の直線光L1, L2, L3によるエビポーラ線を示している。

【0124】そして、これら反射点P11~P32について、ワールド座標系における位置およびカメラ座標系における位置を測定する。6個の点のP11~P32のワールド座標値から、回転ミラーの回転中心104aの座標値A(Xm, Ym, Zm)が求まる。また、図19(b)に示すように、6個の点のP11~P32のカメラ座標値から、3本のエビポーラ線の交点として、消失点Sの座標値(xm, ym)が求まる。

【0125】＜LUTの生成＞このようにして求めた消※

$$V = (X1 - Xm, Y1 - Ym, Z1 - Zm) \quad \cdots (9)$$

【0129】方向ベクトルVの大きさが、式(5)の方向ベクトルUと同じ大きさになるように変形すると、次★

$$\begin{aligned} V' &= (X1 - Xm) / \sqrt{(X1 - Xm)^2 + (Z1 - Zm)^2} \cdot 1/\sqrt{2}, \\ &\quad Y1 - Ym / \sqrt{(X1 - Xm)^2 + (Z1 - Zm)^2} \cdot 1/\sqrt{2}, \\ &\quad Z1 - Zm / \sqrt{(X1 - Xm)^2 + (Z1 - Zm)^2} \cdot 1/\sqrt{2} \quad \cdots (10) \end{aligned}$$

*ができれば、各エビポーラ線の形状を特定することができる。

【0119】図18および図19を用いて、消失点Sの座標値の決定方法について説明する。

【0120】まず最初に、光源1105から点Pに向かう単位方向ベクトルuを、次式(4)によって定義する。

※消失点Sから、所望の方向にエビポーラ線を描き、これに対応するLUTを作成する。この方法について、図20, 図21および図22を用いて説明する。

【0126】まず、図20に示すように、較正面CP1上で座標値(X1, Y1, Z1)が既知の点Bを撮像する。そして、カメラ画像上の座標値(x, y)とワールド座標系の(X, Y, Z)との一般的な関係式(6)に既知の座標値(X1, Y1, Z1)を代入して、式(7)を得る。fx, fyはシステムパラメータである。

$$\begin{aligned} x &= fx \cdot X / Z \\ y &= fy \cdot Y / Z \quad \cdots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= fx \cdot X1 / Z1 \\ y &= fy \cdot Y1 / Z1 \quad \cdots (7) \end{aligned}$$

ここで、(x, y)はカメラ画像上の測定値であるから、式(7)より、fx, fyが求まる。

【0127】次に、図21(a)に示すように、光強度変調を施した2種類のパターン光をベクトルVの方向に照射し、Z=Z1の較正面CP1での反射光をカメラ1104によって撮像する。各パターン光の光強度をそれぞれIa2, Ib2とし、それらの光強度比を $\rho 2 (= Ia2 / Ib2)$ とする。この光強度比 $\rho 2$ の直線光によって、図21(b)に示すように、カメラ画像上には1本のエビポーラ線1701が形成される。

【0128】カメラ画像上の画素位置B(x1, y1)および光強度比 $\rho 2$ が測定されると、既知のZ座標値Z1と、先に式(7)で求めたシステムパラメータfx, fyとから、式(6)を用いて、X1, Y1が次式(8)のように求まる。

$$\begin{aligned} X1 &= x1 \cdot Z1 / fx \\ Y1 &= y1 \cdot Z1 / fy \quad \cdots (8) \end{aligned}$$

また、点Aから点Bへの方向ベクトルVは、次式によって表される。

★式(10)となる。

式(10)と式(5)の第1および第3成分を比較し * *て、式(11)が得られる。

$$\begin{aligned} \cos \phi &= (X_1 - X_m) / \sqrt{(X_1 - X_m)^2 + (Z_1 - Z_m)^2} \\ \sin \phi &= (Z_1 - Z_m) / \sqrt{(X_1 - X_m)^2 + (Z_1 - Z_m)^2} \quad (11) \end{aligned}$$

式(11)から ϕ が決まる。また、式(10)の第2成分から、 $\tan \omega$ の値が決まる。

【0130】このような処理の結果、点Bについて、光強度比 ρ と回転角 ϕ との対応関係、および光強度比 ρ と直線ABを含む鉛直面内でのあおり角 ω との対応関係が求まる。エビボラ線1701を形成する他の複数の点についても、同様にして、光強度比 ρ と回転角 ϕ との対応関係および光強度比とあおり角との対応関係を求める。

【0131】図22は1本のエビボラ線に対するLUTに格納される情報を示す図であり、同図中、(a)は光強度比と回転角との対応関係を表すグラフ、(b)は光強度比とあおり角($\tan \omega$)との対応関係を表すグラフである。同図中、1801a、1801bは図21の点Bに対応するポイントである。同一エビボラ線を形成する各点について、ポイント1801a、1801bと同じようにグラフ上にプロットし、プロットした分※

※布を3次式でフィティングする等によって、一本のエビボラ線に対応するLUTを作成することができる。

【0132】他の所望のエビボラ線についても、上記と同様に、LUTをそれぞれ作成する。

【0133】<Z座標値の測定方法>次に、着目点PのZ座標値の測定方法について説明する。

【0134】着目画素Pのカメラ座標系における座標値(x, y)から、用いるべきLUTが決まる。そして、測定された着目画素Pの光強度比 ρ から、決定されたLUTを参照することによって、光源から着目点Pへ方向ベクトル($\cos \phi$, $\tan \omega$, $\sin \phi$)が決まる。

【0135】よって、光源と着目点Pとを結ぶ直線は、媒介変数tを用いて、次式(12)として表される。

【0136】

【数2】

$$\begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \phi \\ \tan \omega \\ \sin \phi \end{bmatrix} t = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \dots \dots (12)$$

【0137】また、式(6)を変形すると次式(13)となり、さらに式(13)から次式(14)が得られる。

$$f_x \cdot X - x \cdot z = 0$$

$$f_y \cdot Y - y \cdot z = 0 \quad \dots (13)$$

$$f_x \cdot X + f_y \cdot Y - (x+y)Z = 0 \quad \dots (14) \quad \star$$

★【0138】式(12)で表される直線と式(14)で表される平面との交点が、着目点Pであるので、次式(15)を解いて、着目点Pのワールド座標系における座標値(X, Y, Z)を得る。

30 【0139】

【数3】

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\cos \phi \\ 0 & 1 & 0 & -\tan \omega \\ 0 & 0 & 1 & -\sin \phi \\ f_x & f_y & -x-y & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (15)$$

【0140】なお、座標値X, Y, Zを全て測定する必要がなくZ座標値のみを測定する場合には、式(12)の一部である次式(16)と式(13)より、式(17)を解いて、Z座標値を得る。

$$\begin{aligned} \star X_m + \cos \phi \cdot t &= X \\ Z_m + \sin \phi \cdot t &= Z \quad \dots (16) \end{aligned}$$

【0141】

☆40 【数4】

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -\cos \phi \\ 0 & 1 & -\sin \phi \\ f_x & -x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (17)$$

【0142】なお、この場合、LUTは、光強度比 ρ と回転角 ϕ との対応関係に関するもののみを用いれば良い。

【0143】以上のように本実施形態によると、カメラおよび光源の配置の自由度を第2の実施形態よりも拡大

することができる。

【0144】<第3の実施形態の変形例>なお、上述した第3の実施形態では、レンズ中心107aとワールド座標系の原点Oとが一致している場合について説明した。ところが、レンズ中心107aと原点Oとは必ずし

も一致している必要はない。ただし、この場合には、座標系の補正を行う必要がある。

【0145】図23は本変形例におけるワールド座標系の原点Oとレンズ中心107aとの位置関係を示す図である。図23に示すような場合には、既知のカメラのキャリブレーション方法（昭晃堂「三次元画像計測」井口征士、佐藤宏介共著、p92-95参照）を用いて、レ*

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix} \dots\dots(18)$$

【0147】式(18)のカメラパラメータ行列によって、カメラ座標(x, y)とワールド座標(X, Y, Z)とは、次式(19)のように関係づけられる。

【0148】

【数6】

$$\begin{bmatrix} x \cdot h \\ y \cdot h \\ h \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots(19)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\cos\phi \\ 0 & 1 & 0 & -\tan\omega \\ 0 & 0 & 1 & -\sin\phi \\ C_{11}+C_{31}-C_{31}(x+y) & C_{12}+C_{32}-C_{32}(x+y) & C_{13}+C_{33}-C_{33}(x+y) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ C_{14}+C_{34}-C_{34}(x+y) \end{bmatrix} \dots\dots(20)$$

【0152】なお、光強度比ρから角度φおよびωを求めるときには、カメラ画像上のxおよびy座標値の双方が必要である。

【0153】本変形例によって、カメラおよび光源の設置の自由度を、さらに拡大することができる。

【0154】なお、第2および第3の実施形態では、所定のエビポーラ線毎にLUTを備えるものとしたが、これに限らず例えば、全ての画素について、同様の原理に基づいてLUTを設けてもかまわない。ただし、この場合は、LUT同士で情報の重複が生じるため、構成としては冗長となる。

【0155】また、第3の実施形態のようにエビポーラ線がx軸に平行ではない場合であっても、y座標毎にLUTを設けることによって、従来よりも3次元情報の精度を向上することができる。また、例えば、x座標毎にLUTを設けた場合でも、カメラ画像全体で1個のLUTを備えた場合よりは、生成される3次元情報の精度は向上する。

【0156】また、第2および第3の実施形態では、光源を2個設けた装置構成としたが、これに限らず例えば、光源を1個にし、2種類の変調光を所定周期で交互

*レンズ中心107aと原点Oとの位置関係を測定し、座標系の補正を行えばよい、まず、既知のカメラキャリブレーション方法により、カメラパラメータ行列式(18)を求める。

【0146】

【数5】

※【0149】回転ミラーの回転中心104aの位置A(Xm, Ym, Zm)、および消失点S(xm, ym)の決定、並びにLUTの生成については、第3の実施形態と同様に行う。

【0150】着目点PのZ座標値の測定方法は、基本的には、第3の実施形態と同様であるが、式(12)と式(14)の交点を求める代わりに、式(12)と式(19)から、次式(20)を解いて、座標値(X, Y, Z)を得る。

【0151】

【数7】

に照射する構成としてもよい。また、レーザー光源および回転ミラーを用いた装置構成としたが、これに限らず例えば、第1の実施形態のようなフラッシュランプを光源とした構成であっても、同様の効果が得られる。この場合、計測範囲内で、2個のフラッシュランプに係るエビポーラ線が実用上一致していると見なせるようにするために、双方のランプの垂直方向の間隔はなるべく小さい方が望ましい。

【0157】

【発明の効果】以上のように本発明によると、たとえ投射光の光強度が変動したとしても、その変動による反射光画像の光強度の変動が補正されるので、精度良く3次元情報を生成することができる。

【0158】また、本発明によると、たとえ、反射光の光特性と投射光の投射方向との対応関係がカメラ画像内で1対1に対応していなくても、画素位置に応じて選択されたルックアップテーブルが参照されるので、精度よく、3次元情報を生成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係るレンジファインダ装置の構成を示す図である。

【図2】図1のレンジファインダ装置における光源の構成を示す図であり、(a)は斜視図、(b)は平面図である。

【図3】図2に示す光源から輻射される光パターンを示す図である。

【図4】図3の光パターンにおける水平方向の位置と光強度との関係を示すグラフである。

【図5】図4の部分aにおける投射光角度と光強度比との関係を示すグラフである。

【図6】図1のレンジファインダ装置における距離計算部の内部構成を示す図である。

【図7】(a)～(f)は図1に示すレンジファインダ装置の動作を示すタイミングチャートである。

【図8】3次元位置X、Y、Zの計算に用いる角度 ω の概念図である。

【図9】図1のレンジファインダ装置における距離計算部の内部構成の他の例を示す図である。

【図10】第1の実施形態の変形例に係る距離計算部の内部構成の例を示す図である。

【図11】本発明の第2の実施形態に係るレンジファインダ装置の構成を示す図である。

【図12】(a)、(b)は図11の装置における光源に係る光学系の構成を示す図である。

【図13】図11の装置におけるLUT保持部および距離計算部の内部構成を示す図である。

【図14】カメラ画像とLUTとの対応関係を示すための模式図である。

【図15】本発明の第2の実施形態に係るレンジファインダ装置の動作原理をワールド座標系に基づいて表した模式的斜視図である。

【図16】図15の略示平面図である。

【図17】図15における各着目点のカメラ画像上の位置とCCDラインとの関係を示す模式図である。

【図18】本発明の第3の実施形態に係るレンジファインダ装置の動作原理をワールド座標系に基づいて表した模式的斜視図である。

【図19】本発明の第3の実施形態におけるエビボーラ

線の形状を表す図であり、(a)はカメラ画像上においてエビボーラ線が異なる3本の直線光を示す図、(b)は(a)に示す各直線光によるエビボーラ線を示す図である。

【図20】光強度比一定の直線光を照射した場合の略示平面図である。

【図21】本発明の第3の実施形態におけるLUTの生成を説明するための図であり、(a)はパターン光の照射を示す図、(b)は(a)に示すパターン光によるエビボーラ線を示す図である。

【図22】1本のエビボーラ線に対するLUTに格納される情報を示すグラフであり、(a)は光強度比と回転角との対応関係を表すグラフ、(b)は光強度比とおり角との対応関係を表すグラフである。

【図23】本発明の第3の実施形態の変形例におけるワールド座標系の原点Oとレンズ中心との位置関係を示す図である。

【図24】従来のレンジファインダ装置の構成図である。

【図25】従来のレンジファインダ装置の光源の波長特性を示す特性図である。

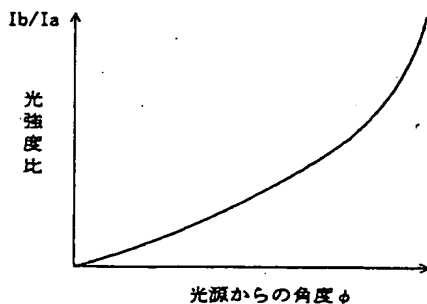
【図26】(a)、(b)は従来のレンジファインダ装置の光源の強度変調の特性図である。

【図27】(a)、(b)はレンジファインダにおける計測原理図である。

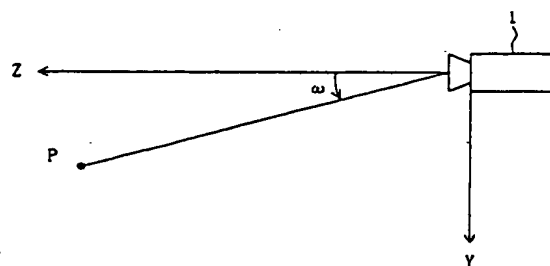
【符号の説明】

- 1 カメラ部
- 2 光源部
- 6, 6A, 6B 距離計算部(3次元情報生成部)
- 21a, 21b 受光素子
- 62a, 62b 光強度補正部
- 106 被写体
- 200 光源部
- 221 ルックアップテーブル
- 300 カメラ部
- 400 3次元情報生成部

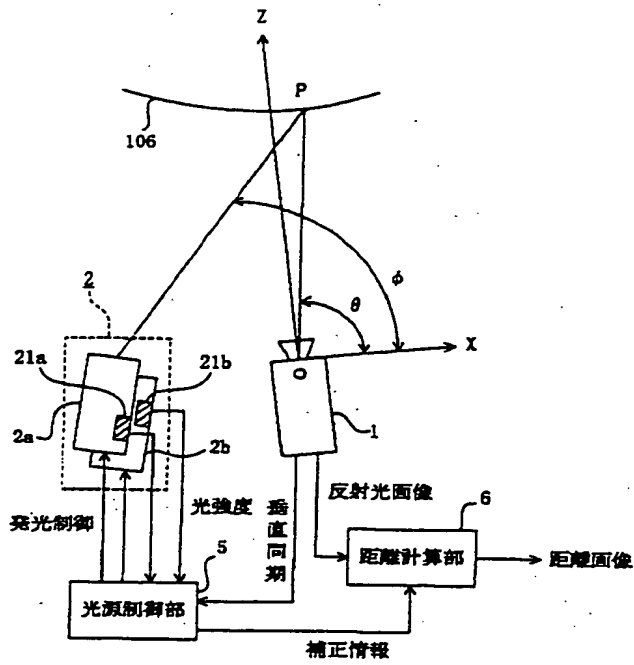
【図5】



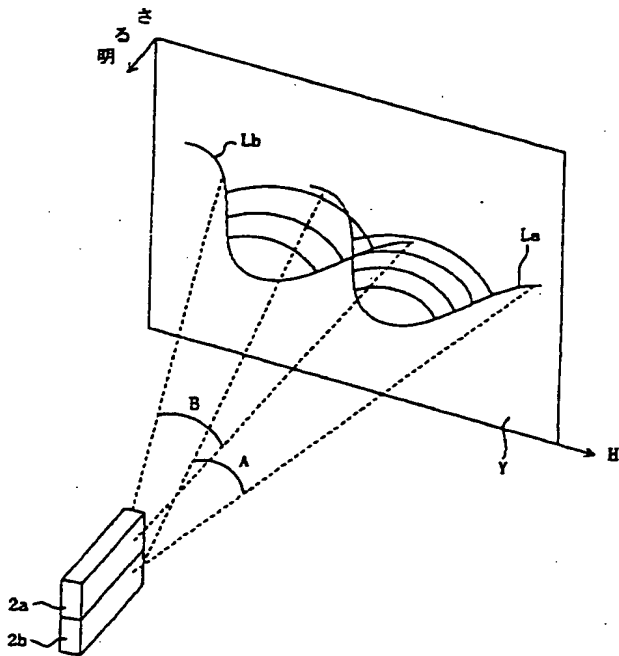
【図8】



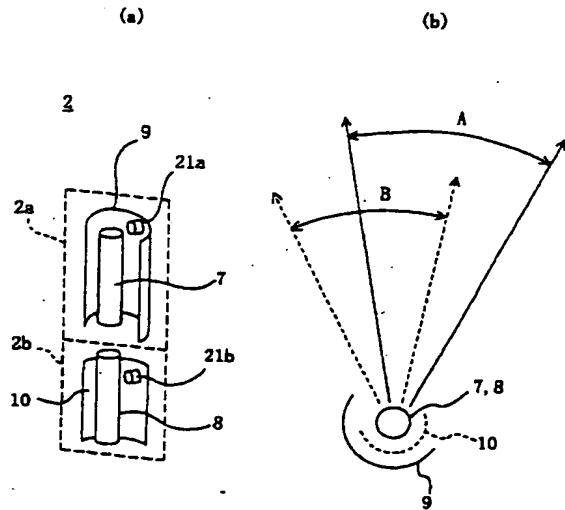
【図1】



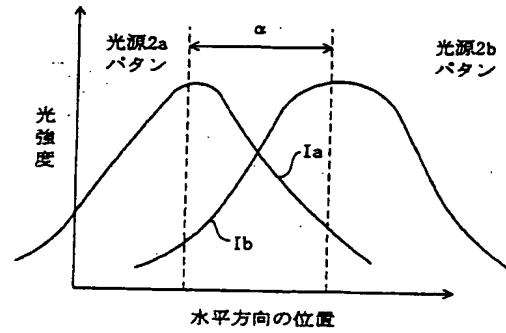
【図3】



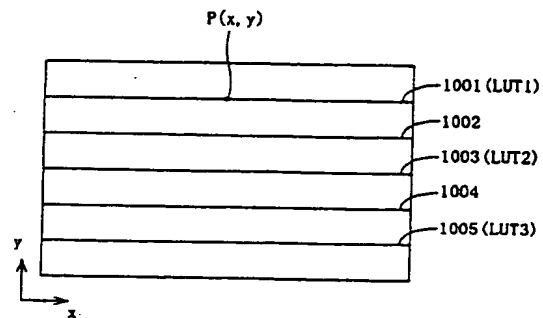
【図2】



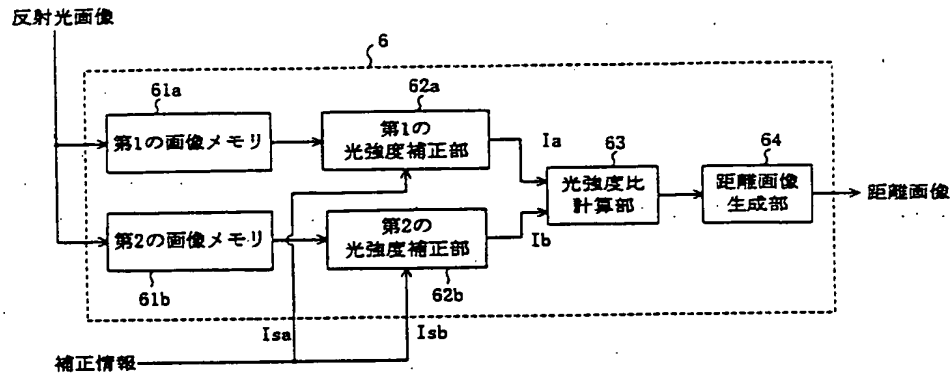
【図4】



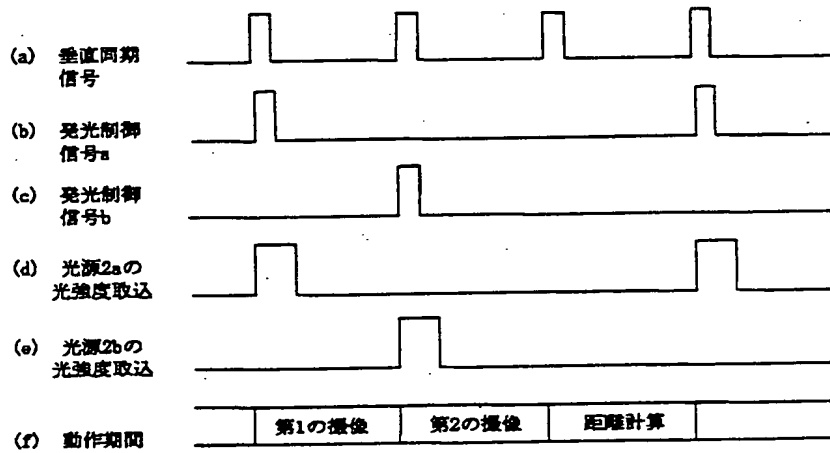
【図14】



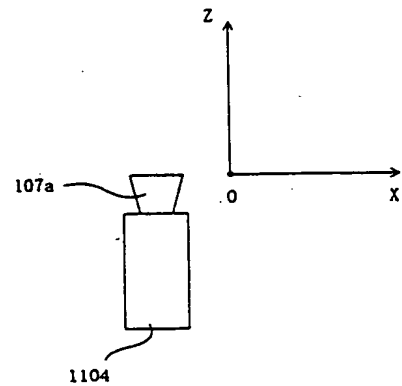
【図6】



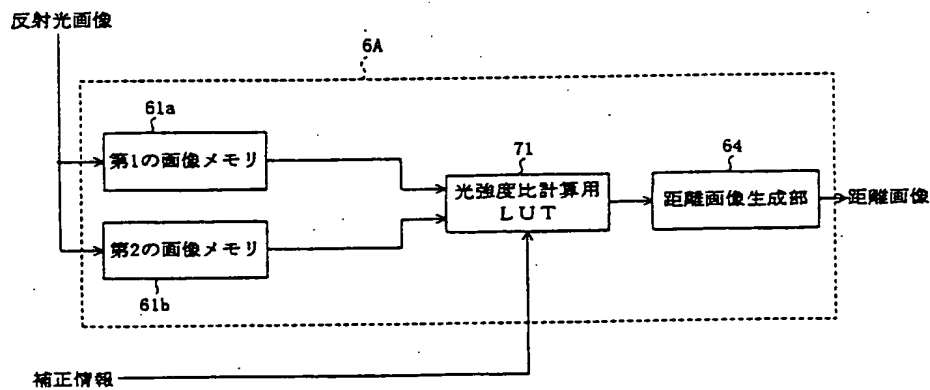
【図7】



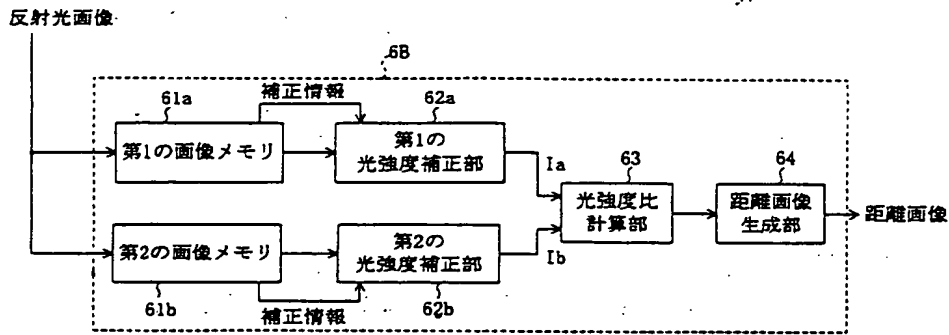
【図23】



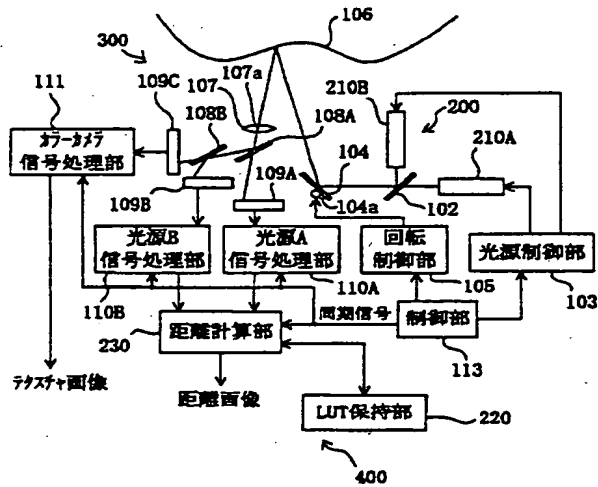
【図9】



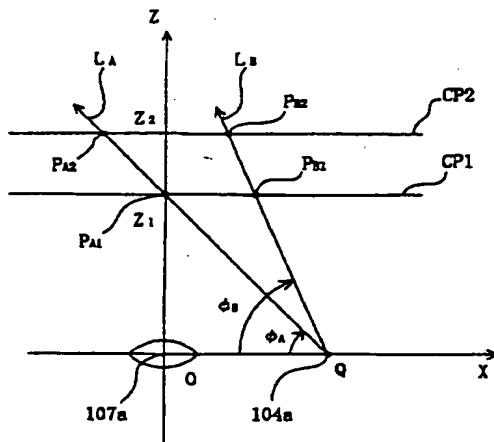
【図10】



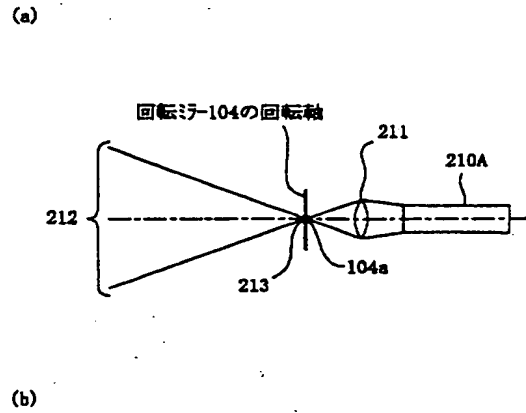
【図11】



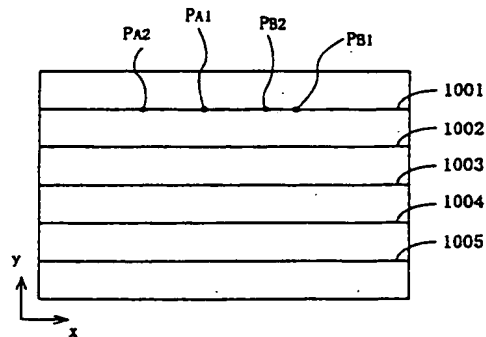
【図16】



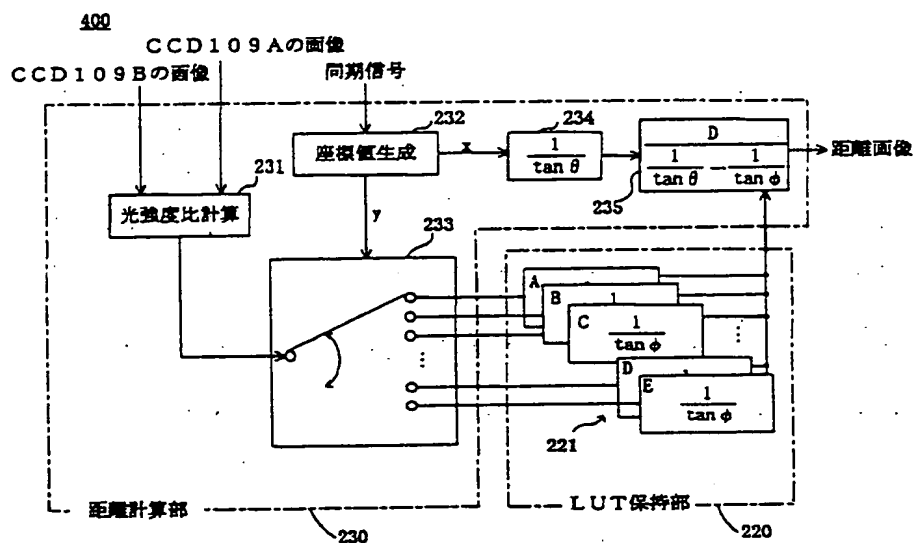
【図12】



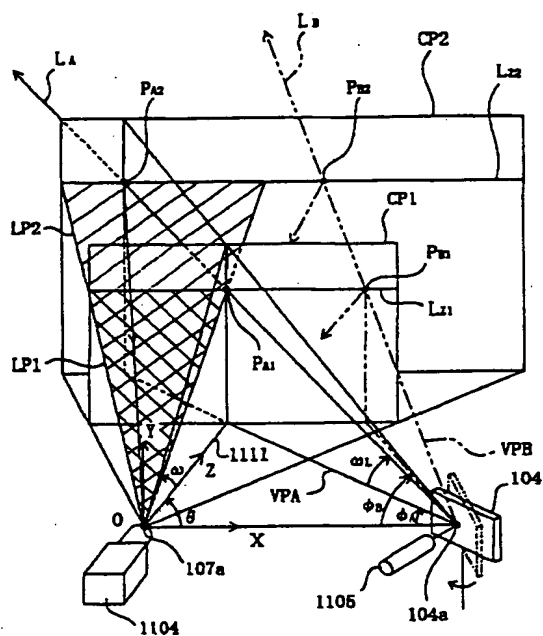
【図17】



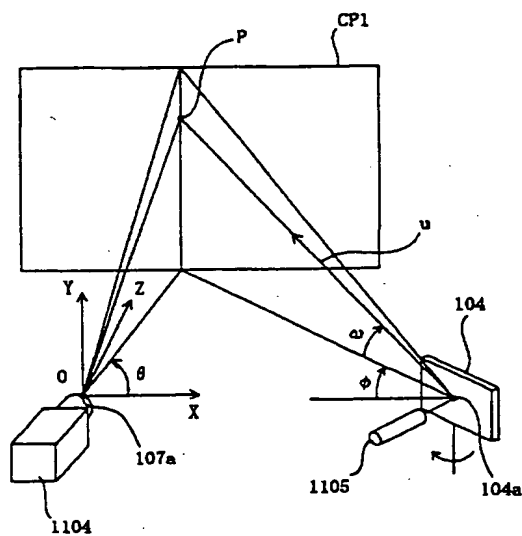
【図13】



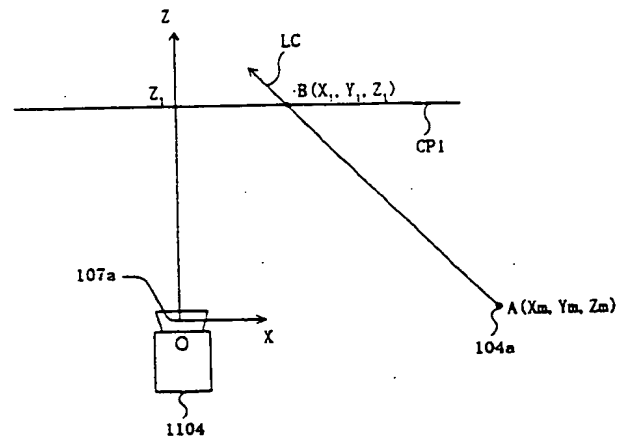
【図15】



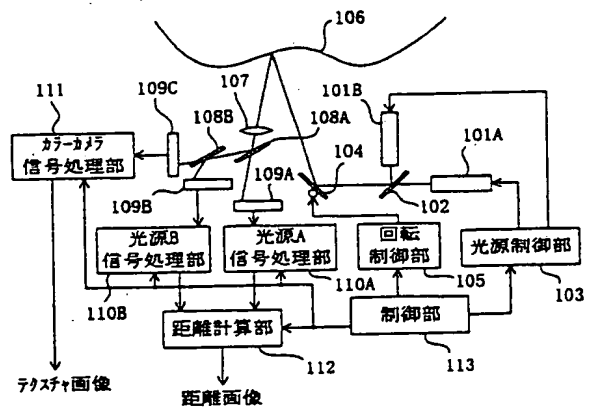
【図18】



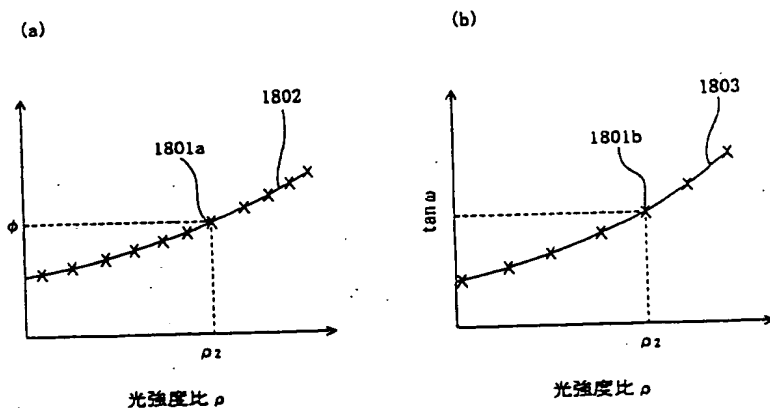
【圖 20】



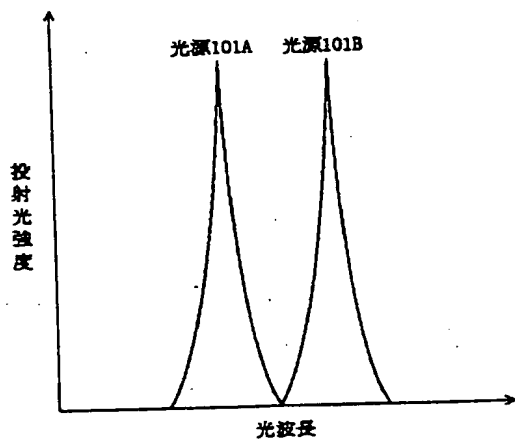
【图 2 4】



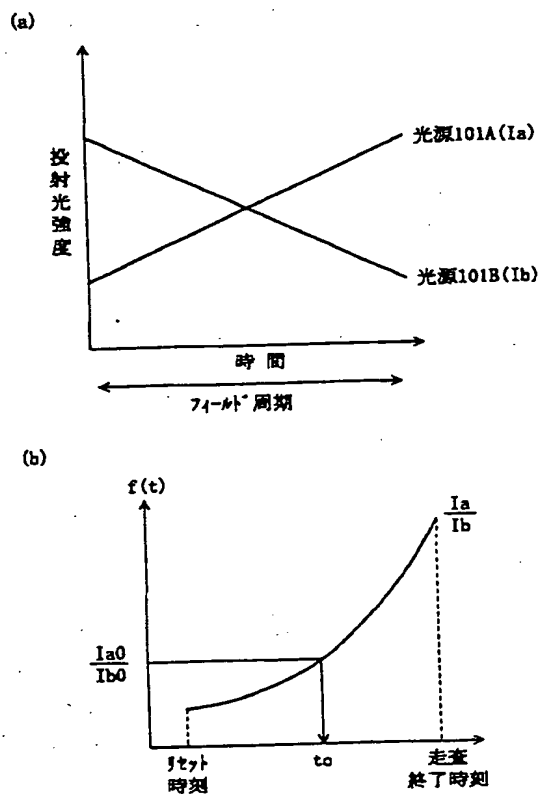
【図22】



【図25】

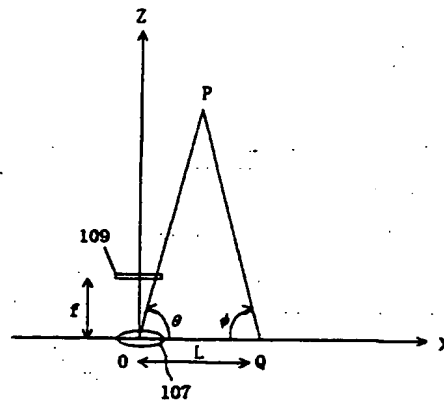


【図26】

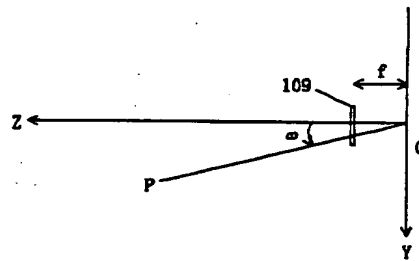


【図27】

(a)



(b)



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷H 0 4 N 5/225
13/02

識別記号

F I

G 0 1 B 11/24

G 0 6 F 15/62

テーマコード(参考)

K

4 1 5